

9. DeLong K. Программный продукт Fractal Image Explorer. 2009. URL: <http://www.femtosoft.biz/fractals/fractalex.exe.zip> (дата обращения 12.12.2009).
10. Sylvestre J., Fisher Y. Программный продукт FracCompress. 2010. URL: <http://inls.ucsd.edu/~fisher/Fractals/Other/FracComp.zip> (дата обращения 05.12.2010).
11. Barnsley M., Hurd L. Программный продукт Fractal Image Compression. URL: <ftp.uu.net:/published/byte/93oct/fractal.exe> (дата обращения 11.12.2009).
12. Polvere M. Программный продукт Mars. 2010. URL: <http://inls.ucsd.edu/~fisher/Fractals/Mars-1.0.tar.gz> (дата обращения 05.12.2010).
13. Welstead S. Программный продукт IMG System. 2010. URL: [http://spie.org/samples/dfractal\\_book.zip](http://spie.org/samples/dfractal_book.zip) (дата обращения 05.12.2010).
14. Wholberg B., De Jager G. A Review of the Fractal Image Coding Literature // IEEE Trans. on Image Proc. — 1999. — V. 8. — P. 1716–1729.
15. Polvere M., Nappi M. A Feature Vector Technique for Fast Fractal Image Coding: Tech. Rep. — University of Salerno, 1998 — 86 p.
16. Hurtgen B., Stiller C. Fast Hierarchical Codebook Search for Fractal Coding of Still Image // EOS/SPIE Visual Communication and PACS for medical applications. — Berlin, 1993. — P. 397–408. DOI: 10.1117/12.160484.
17. Storer J.A., Cohn M. (eds.), Saupe D. Fractal image compression by multi-dimensional nearest neighbor search // Proc. DCC'95 Data Compression Conf. 2011. URL: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.86.628&rep=rep1&type=pdf> (дата обращения 21.02.2011).
18. Осокин А.Н., Шарабайко М.П. Исследование возможности распараллеливания процесса фрактального сжатия изображений // Молодежь и современные информационные технологии: Сб. трудов VIII Всеросс. научно-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. — Томск, 2010. — Т. 1. — Ч. 2. — С. 212–213.
19. Петров А. Фрактальное сжатие графики // [Персональная страница С.А. Огрызкова]. 2010. URL: <http://stanislav.ru/rus/research/fractal.asp> (дата обращения 05.12.2010).

Поступила 15.02.2011 г.

УДК 004

## НАХОЖДЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ И УДАЛЕНИЕ ПОСТОЯННОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ФИЛЬТРА ГАБОРА ДЛЯ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ

А. Кермани Коланкех, В.Г. Спицын\*, Ф. Хамкер

Технический университет, г. Кемниц, Германия

\*Томский политехнический университет

E-mail: arash@tpu.ru

Разработано программное обеспечение для проектирования фильтров Габора с целью обнаружения краев объектов на изображениях. Решены проблемы нахождения оптимальных параметров и удаления постоянной составляющей фильтра Габора.

### Ключевые слова:

Обработка изображений, фильтр Габора, удаление DC, фильтрация, частота, гауссовский сигнал.

### Key words:

Image processing, Gabor filter, Removing DC component, Filtering, Frequency, Gaussian signal.

Фильтры Габора принадлежат к семейству полосовых фильтров [1]. Такие фильтры способны выявить диапазон частот сигнала в определенном промежутке и направлении [2], их широко используют для определения краев на изображениях.

Разработка инструментов для проектирования фильтров Габора является неотъемлемой частью многих задач обработки изображений. В данной работе использовано программное обеспечение, разработанное нами в среде Matlab для проектирования фильтров Габора, а также для учебных целей. Нам удалось найти оптимальное соотношение между частотой и шириной фильтра Габора и осуществить удаление постоянной или средней составляющей фильтра Габора — DC (*Direct Current*) компоненты.

Поскольку фильтры предназначены для обработки изображений, мы сосредоточились на 2-мерных фильтрах. Во всех экспериментах использованы фильтры 11×11 пикселей.

### Фильтр Габора

Импульсная переходная характеристика фильтра Габора определяется в виде произведения гауссовской функции на гармоническую [3]:

$$\text{Gabor}(x', y') = \text{Gauss}(x', y') * \cos(2\pi f_0 x' + \varphi),$$

где

$$\text{Gauss}(x) = K \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_x}} e^{\left(\frac{-x^2}{2\pi\sigma_x^2}\right)} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_y}} e^{\left(\frac{-y^2}{2\pi\sigma_y^2}\right)},$$

$f_0$  и  $\varphi$  — частота и фаза. Вращение фильтра на  $\theta$  градусов описывается как [4]:

$$x' = x \cos \theta + y \sin \theta \quad u \quad y' = -x \sin \theta + y \cos \theta.$$

Изменяя угол вращения  $\theta$ , можно изменять направление, в котором необходимо обнаружить края. На рис. 1 представлены синусоидальная и гауссовская компоненты фильтра, а также сам фильтр.

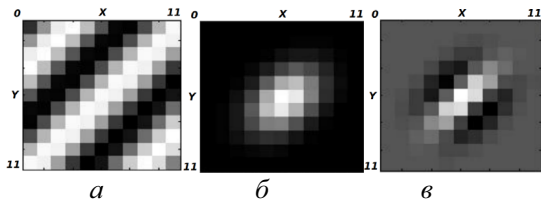


Рис. 1. Двухмерный синусоидальный (а) и гауссовский сигнал (б), повернутый на 45°; фильтр Габора (в), полученный путем умножения синусоидальной и гауссовской компонент в (а) и (б)

### Фильтрация

Процесс фильтрации заключается в конволюции фильтра и входного сигнала в пространственной области. В нашей работе это было сделано с использованием функции conv2 в среде Matlab. Конволюцию в пространственной области можно интерпретировать как умножение в частотном пространстве [4]:

$$r = \text{image} * \text{filter},$$

$$F(r) = F(\text{image}) \cdot F(\text{filter}),$$

где  $r$  — результат фильтрации;  $*$  — конволюция и  $F()$  — преобразование Фурье.

Преобразование Фурье фильтра Габора — это гауссовский сигнал [1], центр которого располагается на центральной частоте фильтра. Это показано в одномерной форме на рис. 2. Частота синусоидального сигнала  $f_0$  является центральной частотой фильтра.

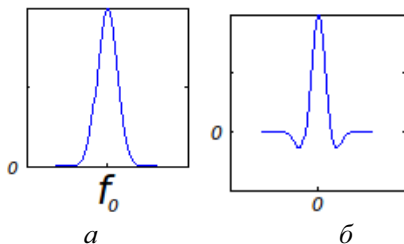


Рис. 2. Одномерный фильтр Габора (а) и преобразование Фурье (б) фильтра Габора с центральной частотой  $f_0$

В результате умножения в частотной области амплитуды частот выходного сигнала, близких к частоте синусоидального сигнала, увеличиваются, а другие ослабляются.

### Проектирование фильтра Габора

Ширина и высота фильтра определяется шириной и высотой гауссовой компоненты. Определение правильной ширины и высоты для фильтра Габора является основополагающим при разработке эффективных фильтров. Экспериментально установлено, что хороший фильтр, способный обнаруживать узкие края в определенной частоте, должен иметь границы в плоскости  $z=0$  и иметь два отрицательных и один положительный пик, рис. 3. Мы также обнаружили, что при выборе

$$\sigma_1 = \frac{1}{\sqrt{2\pi f_0}} \text{ и } \sigma_2 = \frac{3\sigma_1}{2}$$

гарантируется получение фильтров с указанными характеристиками.

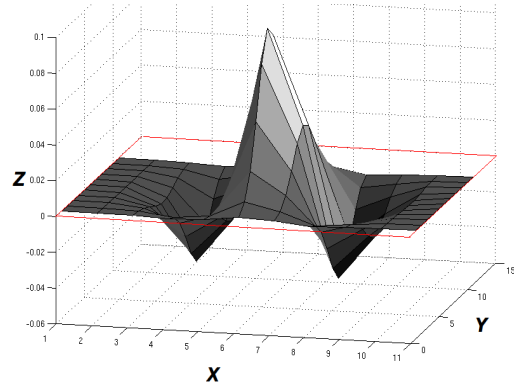


Рис. 3. Двухмерный фильтр Габора с границами в плоскости  $z=0$  и с двумя отрицательными и одним положительным пиками

### Удаление DC

В идеальном случае среднее значение фильтра Габора должно быть равно нулю. Это означает, что если фильтр свернут с сигналом с частотой значительно выше или ниже, чем центральная частота фильтра, то амплитуда сигнала должна быть равна нулю. Это связано с тем, что положительная и отрицательная части сигнала компенсируют друг друга в интеграле свертки. Хотя, на самом деле, обычно среднее значение всегда больше или меньше нуля [5]. Свертка изображения с фильтром, содержащим ненулевой DC, на выходе имеет все изображение вместе с обнаруженными краями, рис. 4.

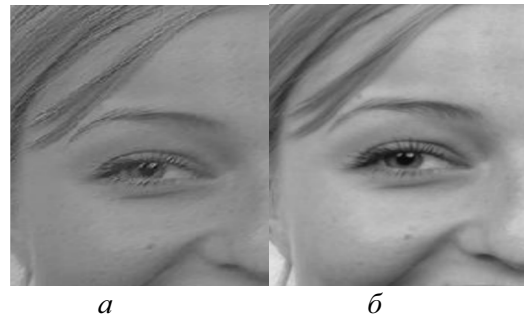
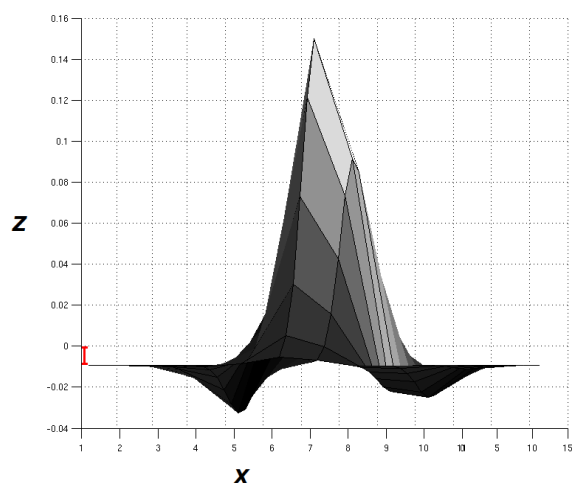


Рис. 4. Входное изображение (а) и результат фильтрации (б) с фильтром, содержащим DC

Представляется целесообразным осуществить удаление среднего значения фильтра DC. При этом происходит деформация фильтра, и его границы сдвигаются от нуля, рис. 5.

В нашем методе осуществляется вычитание гауссовского сигнала из фильтра Габора, что приводит к сохранению формы фильтра и его границы остаются на нулевом уровне. Проблема заключается в нахождении величины соответствующего гауссовского сигнала, который будет вычитаться из фильтра Габора. Для того, чтобы найти подходящий гауссовский сигнал, мы осуществляем деление гауссовского сигнала (подобного гауссовской компоненте фильтра) на его среднее значение и затем умножаем результат на DC фильтра. В результате получаем сигнал со средним значением, равным DC фильтра. При вычитании такого гауссовского сигнала из фильтра получаем фильтр без DC.

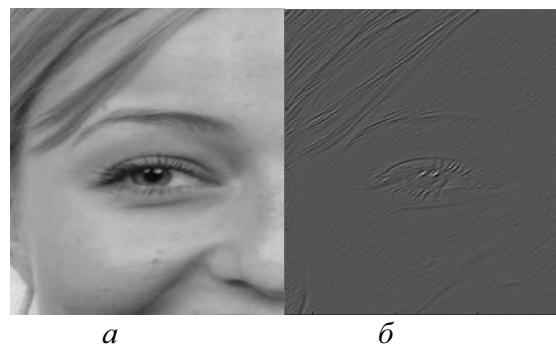
На рис. 6 представлен результат обработки исходного изображения фильтром Габора без DC.



**Рис. 5.** Эффект удаления среднего значения фильтра с целью удаления DC; границы фильтра не находятся на нуле

### Выводы

Осуществлено определение оптимального соотношения между частотой и шириной фильтра Га-



**Рис. 6.** Входное изображение (а) и результат фильтрации (б) с фильтром без DC

бора, что позволило автоматически производить фильтры для нахождения краев объектов с различными частотами, размерами и направлениями. Предложенный способ удаления средней составляющей фильтра Габора позволяет снизить среднюю составляющую фильтра до нуля, не деформируя фильтр. Результаты численных экспериментов демонстрируют успешное выделение краев на изображениях на основе применения полученных в работе параметров фильтра Габора.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Florczyk S. Robot Vision. – Weinheim: Wiley-VCH, 2005. – 216 p.
2. Kong A. An evaluation of Gabor orientation as a feature for face recognition // Nayang Technical University. 2008. URL: <http://figment.csee.usf.edu/~sfefilat/data/papers/MoAT7.3.pdf> (дата обращения: 01.02.2011).
3. Dayan P., Abbot L.F. Theoretical Neuroscience: Computational and Mathematical Modeling of Neural Systems. – Cambridge: MIT Press, 2001. – 576 p.
4. Mathworld Wolfram. 2011. URL: <http://mathworld.wolfram.com> (дата обращения: 01.02.2011).
5. Movellan J. Tutorial on Gabor Filters. 2008. URL: <http://mplab.ucsd.edu/tutorials/gabor.pdf> (дата обращения: 01.02.2011).

Поступила 22.02.2011 г.